

ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES INTERNOS INSERIDOS EM CENÁRIOS URBANOS VIRTUAIS

Luciana Mota Beck (1); Fernando O. Ruttkay Pereira (2); Veridiana Atanasio Scalco (3);

(1) Arquiteta, Doutoranda do PósARQ - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina – Laboratório de Conforto Ambiental, luciana@labcon.ufsc.br

(2) Engenheiro Civil, PhD, Professor da PósARQ - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - UFSC, ruttkay.pereira@ufsc.br

(3) Arquiteta, Dra, Professora do PósARQ - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – UFSC e da UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina, veridi@gmail.com

RESUMO

A configuração espacial das cidades é influenciada pela aplicação de índices urbanísticos, que induzem geometrias, muitas vezes, impeditivas à disponibilidade adequada da iluminação natural. Assim, este artigo tem como objetivo apresentar a análise de cenários virtuais para verificar a influência do entorno urbano na disponibilidade da iluminação natural em ambientes internos. Os cenários foram criados considerando a legislação do município de Florianópolis/SC, sendo caracterizados por ambientes de escritórios com aberturas voltadas para fachadas de frente, lateral e fundos, posicionados para diferentes orientações e também com alturas diversificadas. Os cenários foram modelados no *Rhinoceros 5.0* e a simulação no plug-in *DIVA 4.0*, que permitiu calcular o *Daylight Autonomy (DA)* e *Useful Daylight Illuminances (UDI)*, medidas dinâmicas de desempenho da iluminação natural baseadas no clima anual - CBDM. Assim, nos modelos simulados constatou-se que os ambientes com aberturas nos afastamentos frontais e localizados nos pavimentos superiores são os mais favoráveis à distribuição da iluminação natural. Verificou-se, ainda, que o desempenho da iluminação é mais vantajoso quando a edificação está limitada pelos afastamentos mínimos de frente e fundos, o que permite maior afastamento nas laterais. Desta forma, apesar da legislação urbana limitar a ocupação do solo, as características dos edifícios são resultado da concepção arquitetônica, que pode ser idealizada a fim de produzir espaços de maior qualidade visual.

Palavras-chave: iluminação natural, medidas dinâmicas, cenários urbanos virtuais.

ABSTRACT

The spatial configuration of cities is influenced by the application of urbanistic indices, which induce geometries, often impeding the adequate availability of daylight. Thus, this article aims to verify the influence of the urban environment on the availability of daylight in indoor environments, inserted in virtual urban scenarios. The virtual scenarios, based on the legislation of the municipality of Florianópolis/SC, are characterized by office buildings with openings facing the front, side and back façades, positioned for different orientations and floors. A study was carried out to investigate the configurations of the geometry of the buildings, varying the urbanization indexes, such as occupation rate and FAR, with the CityZoom program. The modeling of the scenarios was developed in *Rhinoceros 5.0* and in the simulation stage the *DIVA 4.0* plug-in enabled the calculation of *Daylight Autonomy (DA)* and *Useful Daylight Illuminances (UDI)*, dynamic measurements of daylight performance based on the annual climate - CBDM. Thus, it was observed that the environments with openings in the front facade and the upper floors are the most favourable for the daylighting. Urban legislation limits land use, but the characteristics of buildings are the result of architectural design, which can be idealized in order to produce higher quality spaces.

Keywords: Daylight, daylight metrics, virtual urban scenarios

1. INTRODUÇÃO

O uso da luz natural proporciona a qualificação dos ambientes para o desempenho das atividades com maior eficiência e qualidade. Entretanto, observa-se, frequentemente, nas cidades brasileiras, configurações urbanas que interferem negativamente na disponibilidade da iluminação natural nos ambientes internos. Tanto o projeto arquitetônico – atividade privada – quanto às legislações – regulamentação pública – conformam as variáveis da edificação que influenciarão o seu microclima interno (SCALCO, 2010).

Entretanto, a aplicação dos parâmetros urbanísticos especificados pela legislação, muitas vezes induzem a um forte adensamento urbano, com pequena flexibilidade na volumetria das edificações e restritos recuos entre elas. Em 2001, com o advento do Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), o EIV – Estudo de Impacto de Vizinhança, trouxe uma preocupação com a análise de requisitos importantes, como a iluminação natural. Apesar dessa evolução em termos de legislação urbana, sua aplicação é frequentemente restrita a empreendimentos de grande porte.

Cada vez mais pesquisadores têm se preocupado em considerar o entorno urbano ao analisar as condições de iluminação natural, seja nas fachadas ou em ambientes internos. Por algumas décadas, um dos parâmetros mais reconhecidos na área foi o FLD – Fator de Luz Diurna e FLDV – Fator de Luz Diurna Vertical. Contudo, esses parâmetros podem ser considerados limitados, pois consideram apenas o céu na sua condição de encoberto, sem considerar as variações que ocorrem na abóboda celeste.

A disponibilidade da iluminação natural em ambientes internos vem sendo avaliada através das medidas dinâmicas de desempenho. Conhecida como modelagem baseada no clima, se dá através de uma base anual de dados, promovendo uma maior aproximação do projeto à sua realidade (REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006). Ao considerar a variação de iluminância ao longo do dia e do ano, permitem avaliar os efeitos da orientação, da latitude, sendo sensíveis ao uso do espaço, conforme necessidade de iluminação e tempo de ocupação.

Uma das principais medidas dinâmicas, o *Daylight Autonomy* (DA) é definido como uma porcentagem de horas ocupadas por ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor previamente estipulado, possibilitando uma autonomia da iluminação natural em relação à luz artificial. (REINHART et al., 2006).

Outra medida dinâmica, o *Useful Daylight Illuminances* (UDI), introduzida por Nabil e Mardaljevic (2006), considera a porcentagem de horas em um ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor dentro de uma variação confortável. A avaliação da combinação destas medidas também se faz necessária, visto que, “uma única medida de desempenho não pode indicar adequadamente todos os fatores envolvidos no sucesso de um sistema de iluminação natural” (IES, 2012).

Reinhart et al. (2016) apresenta uma estrutura baseada em simulações para a formação de regras de zoneamento, que avalia o desempenho da iluminação natural de tipologias de blocos urbanos comuns em Nova York. O desempenho dos projetos de massa investigado varia, e em alguns casos, os projetos superam significativamente estratégias existentes, apoiando as densidades urbanas que são o dobro do zoneamento atual máximo.

Em relação a estudos no hemisfério sul, ainda existem poucos que consideram o entorno construído nas análises das medidas dinâmicas de iluminação. Esses estudos podem contribuir na formulação de recomendações de projetos que visem soluções projetuais, tanto arquitetônicas, quanto urbanas, que favoreçam a disponibilidade da iluminação natural no processo de projeto.

2. OBJETIVO

O objetivo da pesquisa realizada neste trabalho é verificar a influência do entorno urbano na disponibilidade da iluminação natural no interior de ambientes de escritórios, inseridos em cenários urbanos virtuais.

3. MÉTODO

O método do trabalho está dividido em três etapas principais: caracterização dos cenários virtuais, com base nas legislações urbanísticas locais; elaboração das modelagens e simulações computacionais e; tabulação dos dados e análises dos resultados.

3.1. Caracterização dos cenários urbanos virtuais

Na Macro Área de Usos Urbanos, definida no Plano Diretor do município de Florianópolis/SC, a Área Mista Central - AMC foi escolhida para a criação dos cenários urbanos, de alta densidade, destinada a usos residenciais, comerciais e serviços. Na AMC, optou-se por analisar a AMC 6.5 e AMC 16. A tabela 1

apresenta as características distintas destas duas áreas, sendo denominadas para o estudo, de Área 1 (A1) e Área 2 (A2), respectivamente.

Tabela 1 - Limites de ocupação do Plano Diretor de Florianópolis/SC para A1 e A2

Macro Regiões	Áreas	Nº Máx. Pavto Padrão	T.O. Máx.	C.A.			Área Mín. do Lote	Testada Mín. do Lote	Relação Máx. testada/comprimento do lote	Área máx. do Quarterão
				Mín.	Básico	Máximo Total				
Macro Área de Usos Urbanos	A1 (AMC 6.5)	6	50%	1	1	4,36	600 m ²	15 m	1/4	2 ha
	A2 (AMC 16.5)	12	50%	1	1	6,36	1.050 m ²	30 m	1/4	2 ha

As quadras para o estudo foram definidas como planas e dimensionadas com base na metragem e testada mínima do lote para o zoneamento em análise (AMC), computando-se um total de 14 lotes por quadra. Os modelos foram construídos replicando-se, de forma idêntica, a quadra base nove vezes, avaliando-se um lote da quadra central, a fim de garantir uma aproximação de vizinhança de um contexto urbano. As dimensões dos lotes foram estipuladas com 15x40m e 30x35m, formando-se as quadras de 105x80m 210x70m, para A1 e A2, respectivamente, com total de 8.400m² e 14.700 m². A caixa do sistema viário foi definida com vias locais, de 17 metros de largura.

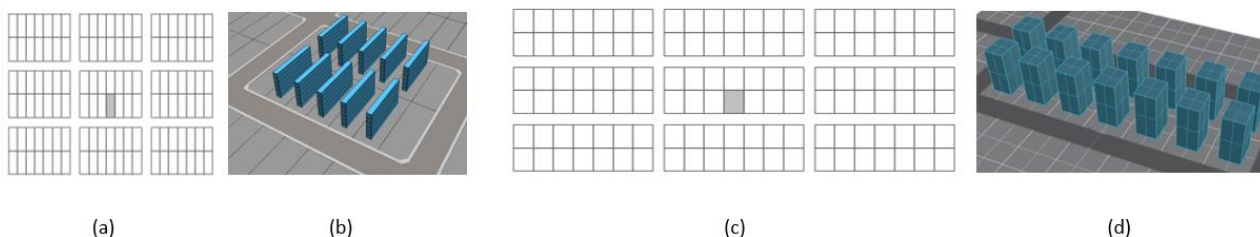


Figura 1 - (a) planta baixa das quadras da A1; (b) quadra da A1 simulada no *CityZoom*; (c) planta baixa das quadras da A2; (d) quadra da A2 simulada no *Rhinoceros*

Em relação as edificações, foi inicialmente realizado um estudo para investigar as diferentes configurações de geometria, utilizando-se o programa computacional *CityZoom* (TURKIENICZ, 2004). O *CityZoom* permite analisar o potencial construtivo da estrutura urbana (cidade, ruas, quadras, lotes, prédios) através de parâmetros urbanísticos e da correlação das análises de diferentes modelos de desempenho sobre a forma construída. O potencial construtivo foi simulado no programa, variando-se os índices e parâmetros urbanísticos, como taxa de ocupação, índice de aproveitamento e afastamentos.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 2, para a A1 optou-se por analisar os modelos com menor gabarito (2 pavimentos) e maior densidade (T.O.=50%); e maior gabarito (6 pavimentos) e menor densidade (T.O. =17%).

Tabela 2 - Estudos de ocupação para A1

Área	Nº de Pavto	H Total Edificação (m)	T.O.	Área Máx. Pavto (m ²)	C.A. (aprox.)	Afastamento Mín.			Afastamento Modelo			Área Const. Pavto Modelo	Área Const. Total (máx=600m ²)
						Frente	Fundos	Lateral	Frente	Fundos	Lateral		
A1	2A	6	50% (máx.)	300	1	4	1,5	1,5	7,5	7,5	1,5	300,00	600,00
	2B	6	50%	300	1		1,5	1,5	4	1,5	3,2	296,70	593,40
	3	9	33%	200	1		3	3	8,9	8,9	3	199,80	599,40
	4	12	25%	150	1				11,7	11,7	3	149,40	597,60
	5	15	20%	120	1				13,35	13,35	3	119,70	598,50
	6	18	17%	100	1		3,6	3,6	13,6	13,6	3,6	99,84	599,04

No modelo de apenas 1 pavimento, não é possível alcançar o coeficiente de aproveitamento básico, e por este motivo, foi excluído da análise. O modelo de 2 pavimentos permite variação da geometria da edificação e apresenta duas variações, sendo a variação A, quando a edificação tem os afastamentos laterais mínimos, e a variação B, os afastamentos de frente e fundos mínimos (figura 2). Ressalta-se, que quando as edificações não são limitadas pelos afastamentos, optou-se por locá-las centralizadas em relação ao lote.

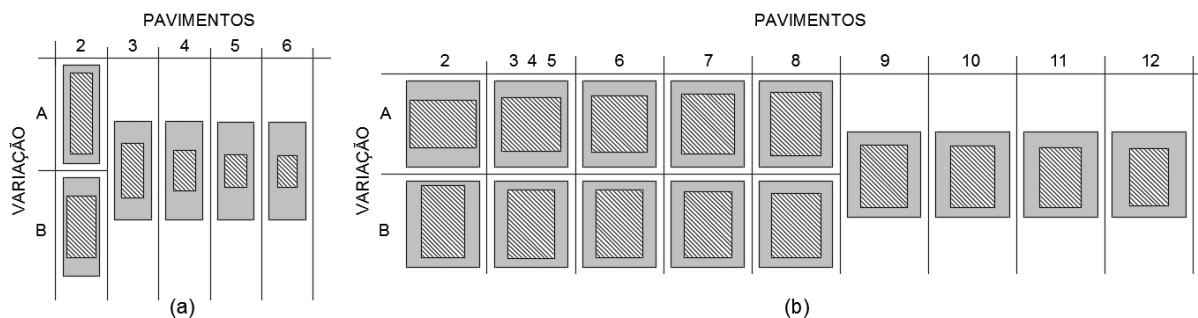


Figura 2 - Estudo de ocupação para A1 (a) e A2 (b)

Como resultado do estudo para a A2, nota-se na tabela 3, a utilização do mesmo critério da A1, escolha para análise dos modelos de 2 (variação 2A e 2B) e 12 pavimentos (máximo permitido). Observa-se, que para a edificação alcançar o máximo do gabarito permitido, foi necessário o acréscimo do coeficiente de aproveitamento, seja de uso da Outorga Onerosa do Direito de Construir ou da Transferência do Direito de Construir, em até 4,29.

Tabela 3 - Estudos de ocupação para A2

Área	Nº de Pavto	H total Edificação (m)	T.O.	Área Máx. Pavto (m²)	C.A. (aprox.)	Afastamento Mín.			Afastamento Modelo			Área Const. Pavto Modelo	Área Const. Total	
						Frente	Fundos	Lateral	Frente	Fundos	Lateral			
A2	2A	6	50% (máx.)	525	1	4	1,5	1,5	7,8	7,8	1,5	523,80	1.047,60	
	2B		50%		4				1,5	6,15	522,15	1.044,30		
	3A	9	50%		1,5		3	3	6,6	6,6	3	523,20	1.569,60	
	3B		50%		4				3	5,65	523,60	1.570,80		
	4A	12	50%		2		3	3	6,6	6,6	3	523,20	2.092,80	
	4B		50%		4				3	5,65	523,60	2.094,40		
	5A	15	50%		2,5		4	3,6	3,6	6,6	6,6	3	523,20	2.616,00
	5B		50%		4					3	5,65	523,60	2.618,00	
	6A	18	50%		3		4,2	4,2	6	6	3,6	524,40	3.146,40	
	6B		50%		3				4	3,6	5,45	523,34	3.140,04	
	7A	21	50%		3,5		4,8	4,8	5,35	5,35	4,2	524,88	3.674,16	
	7B		50%		3,5				4	4,2	5,25	522,60	3.658,20	
	8A	24	50%		4		5,4	5,4	4,65	4,65	4,8	524,28	4.194,24	
	8B		50%		4				4	4,8	5	524,00	4.192,00	
	9	27	47%		4,21		5,4	5,4	4	5,4	5,4	491,52	4.423,68	
	10	30	43%		4,28		6	6	6,66	6	6	450	4.500,00	
11	33	39%	4,29	6,6	6,6	7,75	6,6	6,6	409,92	4.509,12				
12	36	34%	4,14	4,59	7,2	7,2	4,59	7,2	7,2	362,08	4.344,96			

A partir do modelo de 7 pavimentos, o afastamento lateral é maior do que o afastamento de frente. Observa-se ainda, que a partir do modelo de 9 pavimentos, não é mais possível atingir T.O. de 50% (máxima permitida).

Em relação à caracterização dos cenários, definiu-se salas de escritório como tipologia para análise da disponibilidade da iluminação natural. O layout tem formato retangular, com circulação horizontal e vertical centralizada no pavimento. As esquadrais foram locadas no centro da parede e a soma total das áreas dos vãos de iluminação corresponde a 1/6 da área útil do ambiente, conforme mínimo permitido para este tipo de ocupação, no Código de Obras e Edificações de Florianópolis. Definiu-se pé-direito de 3 m.

Tabela 4 - Características do layout interno da A1

Área A1									
Dimensões do Lote:		15x40=600 m²							
Nº Máx. de Pavto	Ambiente	Dimensões Ambiente		M²	Posição da Abertura em relação a rua	Dimensões Aberturas (LxH/P)	Afastamento		
		Comprimento	Largura				Frente	Fundos	Lateral
2 Cenário 1 Variação A	1	5,775	5,225	29,2	Frente	3,8x1,3/0,9	7,5	7,5	1,5
	2	5,225	5,1	26,65	Lateral	3,5x1,3/0,9			
2 Cenário 2 Variação B	1	5,05	4,075	19,71	Frente	2,6x1,3/0,90	4	1,5	3,2
	2A	5	3,4	17,00	Lateral	2,2x1,3/0,9			
	2B	5	3,4	17,00		2,2x1,3/0,9			
	3	5,05	4,075	19,71	Fundos	2,6x1,3/0,90			
6 Cenário 3	1	7,5	4,5	33,75	Frente	4,4x1,3/0,9	13,6	13,6	3,6

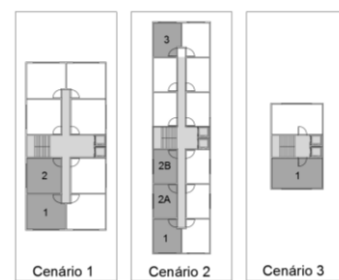


Figura 3 - Cenário 1, 2 e 3 da A1.

Tabela 5 - Características do layout interno da A2

Área 2									
Dimensões do Lote:		30x35=1.050 m²							
Nº Máx. de Pavto	Ambiente	Dimensões Ambiente		M²	Posição da Abertura em relação a rua	Dimensões Aberturas (LxH/P)	Afastamento		
		Comprimento	Largura				Frontal	Fundos	Lateral
2 Cenário 1 Variação A	1	9,475	5,725	53,19	Frente	2 x 3,45x1,3/0,9	7,8	7,8	1,5
	1A	8,75	5,725	50,09		5,725x1,5/0,7			
2 Cenário 2 Variação B	1	8,625	6,35	53,72	Frente	6,9x1,3/0,9	4	1,5	6,15
	2	6,35	7,9	50,16	Lateral	6,35x1,35/0,85			
	3	8,625	6,35	53,72	Fundos	6,9x1,3/0,9			
12 Cenário 3	1	7,575	4,775	35,16	Frente	4,60x1,3/0,9	4,59	7,2	7,2
	2	6,9	3,715	32,95	Lateral	4,3x1,3/0,9			

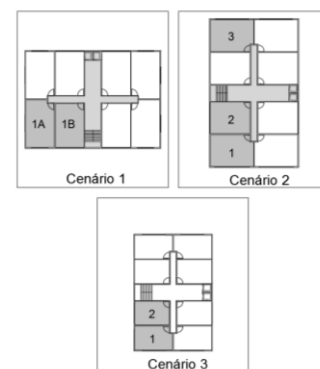


Figura 4 - Cenário 1, 2 e 3 da A2.

3.2. Elaboração e modelagem das simulações computacionais

Para cada área de estudo foram criados 3 cenários urbanos virtuais totalizando um total de 116 simulações. O programa computacional utilizado para a modelagem dos cenários foi o Rhinoceros 5.0. e para a etapa de simulação, o plug-in DIVA 4.0.

As medidas dinâmicas de desempenho da iluminação natural baseadas no clima anual – CBDM utilizadas para o estudo foram o *Daylight Autonomy* (DA), considerando o valor estimulado em 300 lux; e *Useful Daylight Illuminances* (UDI), com valor dentro da variação de 300 a 3.000 lux.

O arquivo climático da cidade de Florianópolis utilizado para a realização das simulações foi em formato SWERA. Em relação aos materiais, definiu-se refletância do piso, parede e teto, respectivamente, 20%, 50% e 70% e transmitância do vidro de 88%. Em relação ao entorno, considerou-se o piso de 20% de refletância para lotes e viário e para as paredes externas das edificações do entorno, refletância de 50%. Os pontos de análises foram distanciados de 50 em 50 cm, à 80cm em relação ao piso.

3.3. Tabulação dos dados e análise dos cenários virtuais

Este estudo foi dividido em 3 etapas, discriminadas e analisadas a seguir.

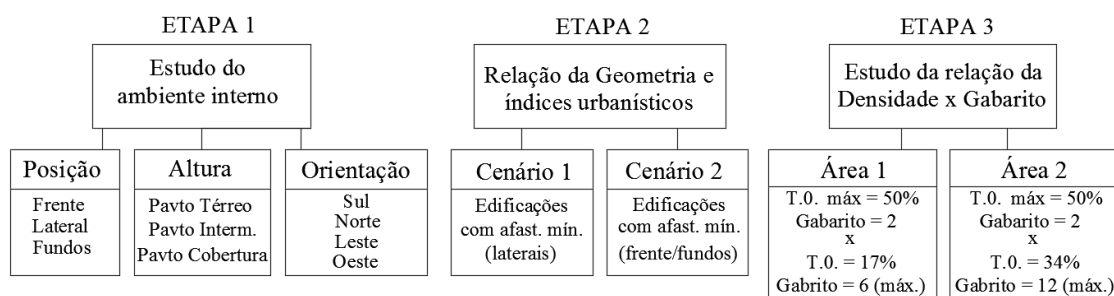


Figura 5 - Divisão das etapas de estudo

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Na 1ª etapa foram escolhidos três parâmetros para análise dos ambientes em estudo: a posição da abertura do ambiente em relação à rua (frente, lateral e fundos), o pavimento (térreo, intermediário e cobertura), e por fim, a orientação solar (sul, norte, leste e oeste).

Segundo a posição da abertura em relação à rua, os ambientes foram classificados como: ambientes 1 (frente), ambientes 2 (lateral) e ambientes 3 (fundos). Para a tabulação dos dados desta etapa foram considerados os resultados dos 3 pavimentos e das 4 orientações analisadas. Ressalta-se que no ambiente 1A, da A2, devido a limitações do layout para atender as exigências da legislação (necessário uma soma total das áreas dos vãos de iluminação de 1/6 da área útil do ambiente) foi colocada outra abertura na lateral. Este é o único ambiente que possui aberturas na fachada principal (frente) e lateral, e optou-se por considerá-lo ambiente 1.

Como resultados, pode-se verificar na tabela 6, que os ambientes 1 foram os que obtiveram maiores valores de DA e UDI, seguidos pelos ambientes 2 e os ambientes 3, computando-se valores médios de 90,40%, 75,28% e 69,04%, e 71,80%, 65,54% e 60,86%, respectivamente.

Tabela 6 - Porcentagem média de DA e UDI dos modelos analisados

Medida Dinâmica	A1							A2							
	Cenário 1		Cenário 2			Cenário 3	Cenário 1		Cenário 2			Cenário 3			
	Amb. 1	Amb. 2	Amb. 1	Amb. 2A	Amb. 2B	Amb. 3	Amb. 1	Amb. 1A	Amb. 1B	Amb. 1	Amb. 2	Amb. 3	Amb. 1	Amb. 2	
DA	91,21	62,16	90,07	85,47	84,65	66,67	91,48	88,08	92,12	96,87	84,33	71,40	82,96	59,77	
UDI	77,40	55,54	76,36	75,17	74,50	58,99	74,24	68,61	70,40	62,76	70,14	62,72	72,83	52,34	

Os ambientes 1 são os que apresentam valores mais significativos de DA, pois além do afastamento frontal, existe o espaçamento livre de obstruções pela presença do sistema viário. Os menores valores de DA foram computados para os ambientes 2 (62,16%), do cenário 1, e ambiente 3 (66,67%), do cenário 2, do A1 e da A2, o ambiente 2 (59,77%) do cenário 3. Como justificativa, percebe-se que são exatamente esses ambientes que possuem os afastamentos mínimos de laterais e fundos.

Como exemplo, a figura 6 mostra os ambientes do cenário 2, da A2, onde a declividade dos valores de DA, variam em média entre 97%, 85% e 72%, referente ao ambiente 1 (frente), ambiente 2 (lateral) e ambiente 3 (fundos), respectivamente.

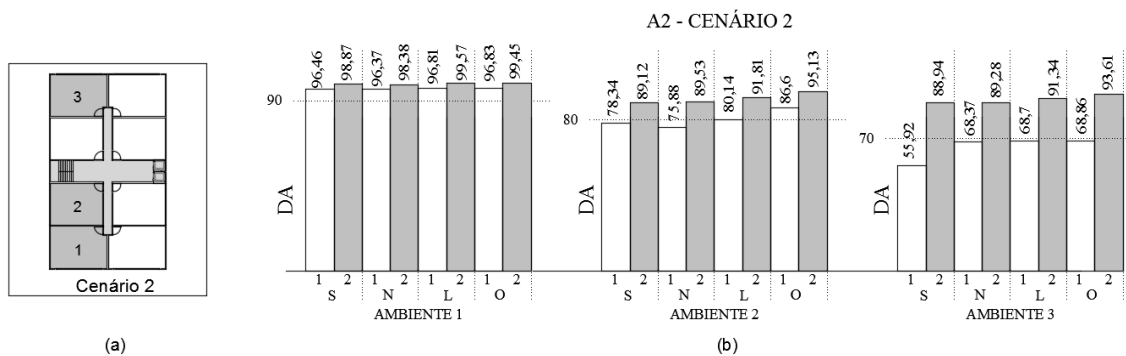


Figura 6: (a) planta baixa do modelo do cenário 2, da A2; (b) resultados do DA dos ambientes do cenário 2, da A2.

Ainda, na tabela 7, os resultados acima levantados, quando o ambiente 1, do cenário 2, da A1 foi simulado para à orientação norte, e ambientes 2A e 2B, para leste, e por fim, o ambiente 3 para à orientação sul, o resultado do DA apresentou-se elevado nos ambientes 1 e 2.

Tabela 7 - Valores de DA e UDI dos ambientes do Cenário 2, da A1

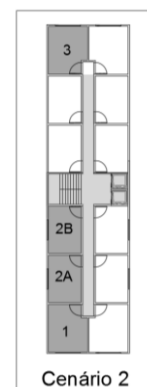
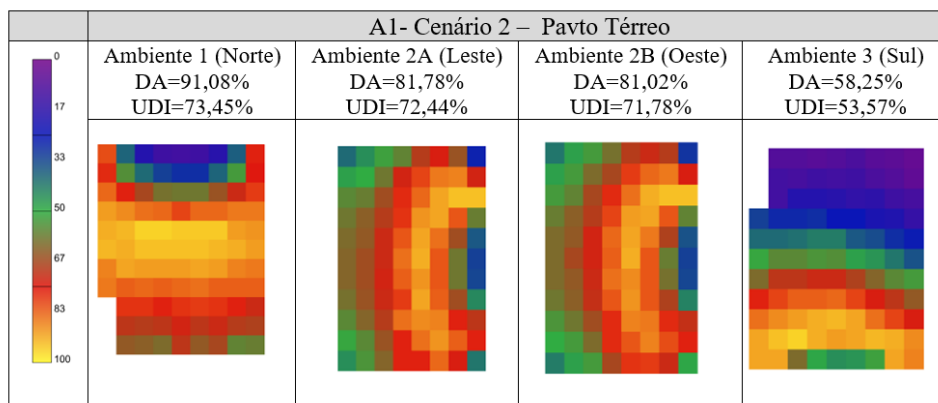


Figura 7: planta baixa do modelo do cenário 2, da A1

Os valores computados de UDI, nas estações de trabalho localizadas próximas as aberturas, principalmente à norte, tem grande chance de causar ofuscamento (variável estipulada confortável de 3.000 lux), e assim a necessidade de uso de dispositivo de sombreamento, acarretaria diminuição do valor de DA. Ainda assim, observou-se grande uniformidade no centro do ambiente, à norte, com DA muito elevado. Entretanto, no ambiente 3, ocorre grande probabilidade de desconforto visual, pois a iluminância no plano de trabalho (h=80cm) não atinge o valor dentro da variável confortável estipulada de 300 lux, nos fundos do ambiente.

O segundo parâmetro analisado foi o pavimento. O pavimento térreo e o pavimento cobertura, correspondente ao 1° e 2° no cenário 1 e 2, para as duas áreas de estudo, e para o cenário 3, os pavimentos 1° e 6°, e 1° 12°, para A1 e A2, respectivamente. Posteriormente, analisou-se ainda, as diferenças dos percentuais dos pavimentos intermediários (3° e 6°) dos cenários 3, para A1 e A2. Os ambientes foram divididos, conforme critério anterior, em ambiente 1, 2 e 3 e considerou-se para análise, os percentuais das quatro orientações.

Tabela 8 - Diferença do percentual de DA e UDI entre pavimento térreo e pavimento cobertura

Pavimentos	A1						A2					
	DA			UDI			DA			UDI		
	Ambiente 1 (frente)	Ambiente 2 (Lateral)	Ambiente 3 (Fundos)	Ambiente 1 (Frente)	Ambiente 2 (Lateral)	Ambiente 3 (Fundos)	Ambiente 1 (Frente)	Ambiente 2 (Lateral)	Ambiente 3 (Fundos)	Ambiente 1 (Frente)	Ambiente 2 (Lateral)	Ambiente 3 (Fundos)
Térreo	87,90	64,55	50,29	75,02	58,29	45,77	83,30	58,68	51,90	71,74	51,34	47,54
Cobertura	93,51	90,30	83,06	79,22	78,51	72,21	96,55	88,03	90,90	65,41	73,25	77,90
Porcentagem	6,4%	39,9%	65,2%	5,6%	34,7%	57,8%	15,9%	50,0%	75,1%	9,7%	42,7%	63,9%

Conforme o esperado, os resultados indicam que os ambientes 1 foram os que obtiveram as menores diferenças entre percentuais de DA e UDI entre os pavimentos analisados, seguidos pelos ambientes 2 e 3. Nos ambientes 2 e 3, existe uma variação percentual mais significativa entre pavimentos, com evidência para os ambientes 3 da A1 e A2.

Nestes ambientes, o afastamento de fundos é de 1,50 (valor mínimo permitido na legislação) e observa-se que no pavimento térreo da A2, o valor do DA de 51,90%, aumentou para 90,90% no pavimento cobertura, computando-se uma diferença maior que 75% entre pavimentos.

Ainda na análise dos pavimentos, foi realizada as simulações com os pavimentos intermediários (3° e 6°, de A1 e A2, respectivamente) dos cenários 3. Os resultados confirmam que as diferenças percentuais entre pavimentos são maiores, quanto menor for o afastamento do ambiente de estudo em relação à outras edificações. No ambiente 1, da A1, o afastamento frontal é de 13,60 (mín. 4m), e observa-se menor diferença dos valores entre pavimentos. No ambiente 1 e 2 da A2, o afastamento de frente é de 4,59m e de lateral é de 7,20m, respectivamente, o que corresponde ao mínimo exigido pela legislação. Os resultados apresentam diferença significativa, como por exemplo, 27% entre o 1° e o 12° no ambiente 1, e no ambiente 2, uma diferença maior que 95% entre pavimentos.

Tabela 9 - Comparação dos resultados de DA entre pavimentos

A1 - Cenário 3 - DA		A2 - Cenário 3 - DA		A2 - Cenário 3 - DA	
Pavimento	Ambiente 1	Pavimento	Ambiente 1	Pavimento	Ambiente 2
Térreo	87,69	Térreo	72,82	Térreo	42,06
Intermediário	92,80	Intermediário	85,10	Intermediário	54,54
Cobertura	93,97	Cobertura	92,48	Cobertura	82,72
DIF. entre 1 e 3	5,8%	DIF. entre 1 e 6	16,9%	DIF. entre 1 e 3	29,7%
DIF. entre 3 e 6	1,3%	DIF. entre 6 e 12	8,7%	DIF. entre 6 e 12	51,7%
DIF. entre 1 e 6	7,2%	DIF. entre 1 e 12	27,0%	DIF. entre 1 e 12	96,7%

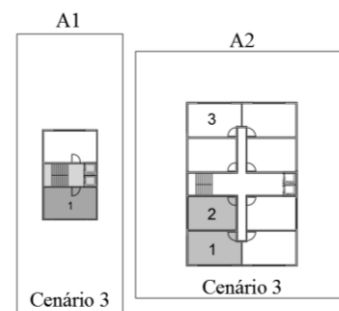


Figura 8 – Planta baixa dos modelos dos cenários 3, da A1 e A2

Ao fim desta 1ª etapa, os ambientes foram simulados com as aberturas voltadas para as 4 orientações solares: sul, norte, leste e oeste, e mantiveram-se os critérios de análise, ou seja, a divisão dos ambientes em 1, 2 e 3, e considerou-se todas as pavimentos para a avaliação. Os resultados dos valores médios de DA e UDI, nos ambientes 1, não apresentam diferenças significativas nas 4 orientações estudadas, sendo computado porcentagens médias de 91,45%, 91,03%, 90,57% e 88,55%, para leste, oeste, norte e sul, respectivamente. Ressalta-se que estes são os ambientes que possuem maiores afastamentos (frontal), e assim, estão mais livres de obstruções.

Apesar da fachada sul ter atingido menor valor de DA, registrou-se, por outro lado, o maior valor de UDI, de 73,86%, seguidos de 69,89%, 67,70% e 64,97%, para leste, oeste e norte. Estes resultados apontam para a importância da combinação destas medidas, observando-se que apesar de ter obtido DA inferior (mas próximo do valor da fachada que obteve melhor resultado), a fachada sul, pode apresentar melhor desempenho da iluminação natural do que nas demais orientações, pois os valores de UDI encontram-se mais favoráveis, dentro da variável confortável, e assim, tem menor probabilidade da ocorrência de desconforto visual.

Ainda sobre os resultados dos ambientes 1, realizou-se um estudo complementar para comparar a distribuição da iluminação natural dos ambientes 1A (abertura frente e lateral) e 1B (somente frente) no pavimento térreo, do cenário 1, da A2. Os resultados indicam valores médios de DA maior para 1B (92,12%) do que para 1A (88,08%). Já os valores de UDI, apontam resultados maiores para 1A (70,40%) do que para 1B (68,61%), ou seja, distribuição da iluminação natural no interior muito similar. Na fachada norte observa-se provável desconforto visual no fundo do ambiente, e nas fachadas leste e oeste, próximo as aberturas.

A dimensão do afastamento lateral de apenas 1,5m (valor mínimo), pode justificar o motivo pelo qual a colocação de mais uma abertura na lateral do ambiente 1A, não colabora significativamente para a melhoria da distribuição da iluminação natural no interior.

Tabela 10 – Comparação dos resultados de DA e UDI para os ambientes 1A e 1B, no cenário 1, da A2

0 17 33 50 67 83 100	A2- Cenário 1 - Pavimento Térreo							
	SUL		NORTE		LESTE		OESTE	
	1A DA=93,7% UDI=73,38%	1B DA=96,46% UDI=71,52%	1A DA=78,09% UDI=69,25%	1B DA=85,57% UDI=67,05%	1A DA=90,63% UDI=73,15%	1B DA=95,94% UDI=67,09%	1A DA=90,35% UDI=70,98%	1B DA=93,93% UDI=67,92%

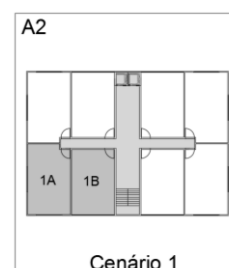


Figura 9 - Planta baixa do cenário 1, da A2

Em relação aos ambientes 2, computou-se DA médio de 77,93%, 74,69%, 74,64% e 73,85%, para as orientações à leste, oeste, sul e norte. Em relação ao UDI, a fachada sul obteve maior valor, com 73,90%. Nas demais fachadas, os resultados foram 67,13%, 63,87% e 61,57%, para leste, oeste e norte.

Nos ambientes 3, os resultados também foram muito similares, com DA médio igual a 73,44%, 68,91%, 67,95% e 65,87%, para sul, leste, oeste e norte, respectivamente. Para os valores médios de UDI, computou-se 67,36%, 60,56%, 59,50% e 56,02%, para sul, leste, oeste e norte.

O estudo da 2ª etapa teve como propósito a análise da variação da geometria dos cenários 1 e 2 da A1 e A2. Esses cenários possuem modelos com a mesma taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento, mas

diferentes afastamentos. Nos cenários 1, os modelos estão limitados no afastamento mínimo lateral e nos cenários 2, aos afastamentos de frente e fundos. Na A1, os ambientes 1 e 2 do cenário 1 foram comparados com os ambientes 1 e 2A do cenário 2, e na A2, o ambiente 1B do cenário 1 foi comparado com o ambiente 1 do cenário 2. Neste estudo foram consideradas as 4 orientações e os pavimentos térreos e cobertura.

Tabela 11 - Comparação dos resultados dos cenários 1 e 2, de A1 e A2

Cenários	A1		A2	
	DA	UDI	DA	UDI
1	76,68	66,47	92,12	69,50
2	87,77	75,77	96,87	62,76

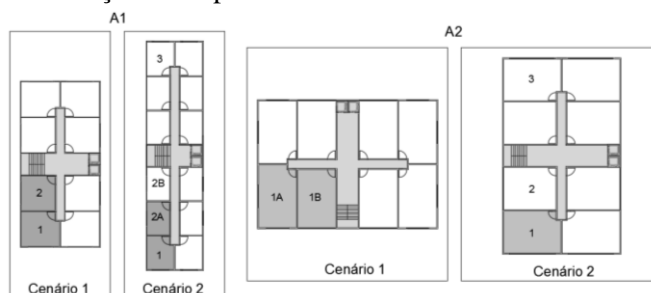


Figura 10 - Planta baixa dos cenários 1 e 2, da A1 e A2.

De acordo com os resultados, observa-se que os cenários 2 são os que computaram os maiores valores de DA e confirma que o afastamento lateral é importante para favorecer a disponibilidade da iluminação no interior dos ambientes. Na A1, o afastamento lateral no cenário 2 (3,20m) dobrou em relação ao Cenário 1 (1,50m) e o resultado de DA, aumentou 14%. Na A2, apesar do maior afastamento frontal no cenário 1 (7,80m), o valor de DA é maior para o cenário 2. Nesta situação, é a geometria do ambiente que está influenciando na disponibilidade da iluminação natural no interior do ambiente. No cenário 2, a profundidade do ambiente é menor (6,35m) do que no cenário 1 (8,75m).

A etapa 3 tem como propósito analisar a relação da densidade e gabarito dos modelos. Os cenários 2 foram os escolhidos para o estudo comparativo com os cenários 3, devido maior similaridade da geometria do que nos cenários 1. O modelo do cenário, na A1 foi relocado para ficar no afastamento mínimo de 4m, igual a situação do modelo do cenário 2. Para esta análise considerou-se os resultados somente do pavimento térreo e as 4 orientações dos ambientes 1.

Tabela 12- Comparação de densidade e gabarito para os cenários 2 e 3, da A1 e 2 e 3, da A2.

Cenário	A1		A2	
	DA	UDI	DA	UDI
2	86,71	74,09	94,11	78,34
3	87,69	75,38	72,82	65,91

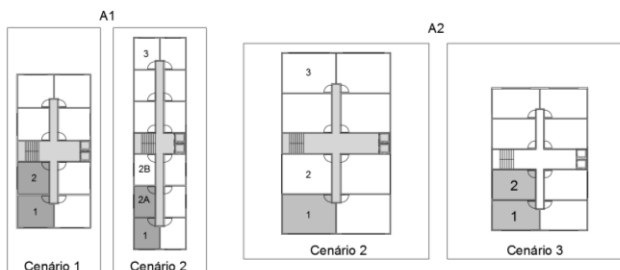


Figura 11 - Planta baixa dos cenários 2 e 3, da A1 e 2 e 3, da A2

Observando-se os resultados da tabela 12, repara-se que para A1, os valores de DA e UDI são próximos para o cenário 2 e 3, conforme o esperado, visto que as características da geometria, por exemplo, profundidade do ambiente, metragem quadrada do ambiente, área das aberturas são similares, assim como os parâmetros urbanísticos similares, como afastamento frontal igual de 4 metros e os laterais, com 3,20m e 3,60m, respectivamente.

Nos cenários 2 e 3 da A2, o valor de DA aponta o cenário 2 como o mais favorável na disponibilidade da iluminação natural no interior. Faz-se necessário uma investigação mais aprofundada de variáveis que influenciam a disponibilidade da iluminação natural no interior dos ambientes, como por exemplo, o controle da luz solar refletida pelo entorno. Assim, simulou-se o ambiente 1 (orientação a norte) do cenário 2 e 3, sem o entorno urbano, além de substituir a refletância dos materiais das paredes externas de 50% para 10%. Como resultado, para A1, o DA desconsiderando o entorno passou de 94,72% para 96,84%, um aumento de 2,2% e em relação a refletância do material, a substituição por 10%, acarretou numa diminuição do DA em somente 0,6%, computando-se 94,13%. Para A2, o DA desconsiderando o entorno passou de 75,7% para 95,64%, um aumento de 26% e em relação a refletância do material, a substituição por 10%, acarretou numa diminuição do DA em 23%, computando-se 61,06%.

5. CONCLUSÕES

A configuração espacial das cidades é fortemente influenciada pela aplicação de índices urbanísticos, que induzem volumetrias, muitas vezes impeditivas à disponibilidade adequada de iluminação natural. Na

maioria dos casos, a legislação urbanística limita-se a definir índices genéricos de ocupação, deixando de considerar critérios importantes que possam favorecer o desempenho da iluminação natural.

Nos modelos simulados constatou-se que os ambientes localizados nos afastamentos frontais são os mais favoráveis à distribuição da iluminação natural, pois encontram-se mais livres de obstruções.

Em relação aos pavimentos, observou-se, como esperado, que os inferiores são menos favoráveis à disponibilidade da iluminação natural. Mesmo assim, a legislação não contempla critérios diferenciados em relação à altura dos pavimentos, que poderiam induzir ao melhor aproveitamento da iluminação no interior dos ambientes.

Quanto ao estudo das aberturas em diferentes orientações, observou-se melhores resultados de DA para a fachada leste e de UDI para a fachada sul. O estudo de ocupação da edificação do lote mostra a possibilidade de variações na geometria de uma edificação, para uma determinada taxa de ocupação. Verificou-se, ainda, que o desempenho da iluminação é mais favorável quando a edificação está limitada pelos afastamentos mínimos de frente e fundos, o que permite maior afastamento nas laterais. Entretanto, observa-se que para o melhor aproveitamento da edificação no lote, tende-se a priorizar maiores afastamentos na frente e nos fundos, o melhor uso da área livre restante, seja para lazer, espaço verde ou estacionamento, entre outros. Em relação à densidade, percebeu-se que os modelos mais densos (maior taxa de ocupação e menor gabarito) apresentaram-se mais favoráveis a disponibilidade da iluminação natural no interior dos ambientes. Ressalta-se que o estudo foi feito replicando, de forma idêntica, a quadra base nove vezes. Sabe-se do dinamismo das cidades e o desafio de prever o entorno, mas este parâmetro utilizado foi importante para comparar os volumes dos modelos simulados, sem a interferência de variáveis externas que poderiam interferir nos resultados.

A legislação urbana limita a ocupação do solo, porém a forma dos edifícios é resultado da concepção arquitetônica, que pode ser idealizada a fim de produzir espaços de maior qualidade. Dessa forma, a grande complexidade deste fenômeno constitui o desafio no estudo da iluminação natural em ambientes internos, onde o processo deve ser avaliado como um todo. As condições da iluminação natural devem ser atendidas tanto em qualidade quanto em quantidade, considerando desde a distribuição da luz, as características do meio urbano e o desempenho da edificação, definindo materiais e elementos utilizados nas superfícies envoltórias, até efetivamente atingir o espaço interior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil. Lei n 10.257 de 10 de Julho de 2001 – Estatuto da Cidade.
- Brasil. Lei Complementar n° 482, de 17 de janeiro de 2-14 – Institui o Plano Diretor de Florianópolis.
- Brasil. Lei Complementar n° 60, de 11 de maio de 2000 – Institui o código de obras e edificações de Florianópolis e dá outras providências.
- IESNA, IES LM-83-12. **IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York, NY, USA, IESNA Lighting Measurement, 2012.
- GRAZZIOTIN, P.; TURKIENICZ, B.; SCLOVSKY, L.; FREITAS, C. M. D. S. Cityzoom: a tool for the visualization of the impact of urban regulations. In: CONGRESSO IBERO- AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, São Leopoldo, 2004. Anais... São Leopoldo: SigrDi, 2004
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. **Useful daylight illuminance**: a replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, v.38, n.7, p.905-913, 2006.
- REINHART, C.; SARATIS, E.; DOGAN, T. **Simulation-based daylighting analysis procedure for developing urban zoning rules**. Sustainable Design Lab, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, US, 2016.
- REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, John; ROGERS, Zack. **Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design**. LEUKOS – Journal of Illuminating Engineering Society of North America, v.3, v.1, p. 7-31, 2006.
- SCALCO, V. A. **Método para a avaliação dos impactos de edificações sobre a iluminação natural e insolação em vizinhanças urbanas**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2010. 395p

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES/DS e CNPQ pelos recursos financeiros aplicados em forma de bolsa de doutorado, e a Renato Silveira e Benamy Turkienicz pelo treinamento do programa computacional *CityZoom*.